

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-112591

(43)公開日 平成11年(1999)4月23日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	F I	
H 0 4 L 27/22		H 0 4 L 27/22	C
7/00		7/00	F
// H 0 3 L 7/06		H 0 3 L 7/06	Z

審査請求 未請求 請求項の数2 FD (全 6 頁)

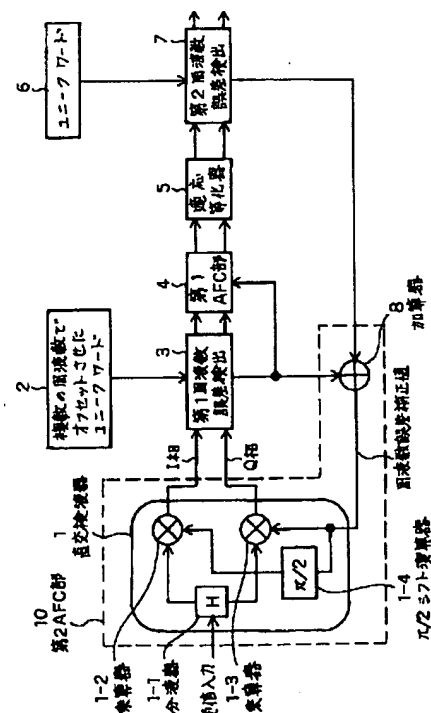
(21)出願番号	特願平9-283166	(71)出願人	000001122 国際電気株式会社 東京都中野区東中野三丁目14番20号
(22)出願日	平成9年(1997)10月1日	(72)発明者	川原 伸章 東京都中野区東中野三丁目14番20号 国際 電気株式会社内
		(74)代理人	弁理士 大塚 学

(54) 【発明の名称】 自動周波数制御方式

(57) 【要約】

【課題】ユニークワードが付加された受信信号を直交検波した後、既知のユニークワードとの複素相関をとって等化することによりフレーム同期をとる場合の、マルチパス選択性フェージングによる周波数制御の精度を高める。

【解決手段】直交検波器１の出力と正負に周波数をオフセットさせたユニークワード２との相関により、適応等化器５が動作するレベルまでの第１の周波数誤差を検出し、第１ＡＦＣ部４で補正した後、等化する。第２の周波数誤差検出器７で残留誤差成分とユニークワードとの相関をとった第２の周波数誤差と、前記第１の周波数誤差とを加算器８で加算した周波数誤差補正值を直交検波器１に与えて周波数誤差を補正するように構成した。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 一定長の伝送データ毎に既知のユニークワードが付加されたフレーム構成を有する信号が変調された電波を受信して外部から与えられる周波数誤差補正值により補正制御された直交検波を行う直交検波手段と、

検波後の受信信号におけるユニークワード部と正負両方向に故意に周波数オフセットを与えたユニークワードとの複素相関演算を行うことによって第1の周波数誤差情報を検出する第1の周波数誤差検出手段と、

該第1の周波数誤差情報に基づき受信系列に逆の回転を与える第1の周波数補正手段と、

該第1の周波数補正手段から出力されるユニークワードを含む受信信号の波形等化を行うことによって遅延歪みを等化する適応等化器と、

遅延歪みの影響が除去された受信信号のユニークワード部と既知のユニークワードとの複素相関演算を行うことによって第2の周波数誤差情報を検出する第2の周波数誤差検出手段と、

前記第1および第2の2つの周波数誤差情報を加算して前記直交検波手段に前記周波数誤差補正值として入力し次フレームの周波数誤差を補正する第2の周波数補正手段とを備えた自動周波数制御方式。

【請求項2】 前記第1の周波数誤差検出手段は、既知のユニークワードに対する受信信号のユニークワードの位相回転を求める手段を用いることを特徴とする請求項1記載の自動周波数制御方式。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、デジタル無線機の受信部に用いられる自動周波数制御（AFC）方式に関し、特に、HF帯域のように比較的長い遅延を伴うマルチパスが存在し、かつ比較的大きな送受信間周波数誤差が存在する回線に適用するフレーム同期回路に付加される自動周波数制御方式に関する。

## 【0002】

【従来の技術】デジタル無線通信では、変調信号を周波数固定発振器で直交準同期検波し、デジタル信号処理により復調を行う。しかし、送受信機間の局発振周波数の設定誤差と、温度変動などの周波数誤差により、検波後の信号にビート成分が発生する。そのため、正し

受信信号 :  $a_n + j b_n$

オフセット信号 :  $C_n + j b_n$

$$\text{複素相関自乗和} : \left( \sum_{n=0}^p (a_n c_n + b_n d_n) \right)^2 + \left( \sum_{n=0}^p (a_n d_n + b_n c_n) \right)^2$$

い復調信号を得るためにはこれを補償する必要がある。

【0003】通常、デジタル無線通信の場合には、たとえば同期捕捉用、あるいは等化器のトレーニングのためユニークワードのような送受で既知である信号が伝送データに付加されている。受信信号中のユニークワード部と、受信側で、既知であるユニークワードのパターンとの位相誤差を検出することにより、周波数誤差の補償を行う方法が従来から知られている。

【0004】しかし、広帯域変調の場合、マルチパス伝搬による周波数選択性フェージングの影響により、受信信号中のユニークワード部の波形が大きく歪むため、前述の方法では正確に位相誤差が検出できず、周波数誤差を完全に補償できない。通常、広帯域伝送時の周波数選択性フェージング対策のためには適応等化处理が用いられるが、等化处理で補償できる周波数誤差は、その等化处理で補償できる最大ドップラ周波数程度までである。また、上述のような広帯域伝送時であっても、周波数誤差を補償できる他の方式として、相関ピーク検出型AFC方式と、 $\tan^{-1}$ 型AFC方式などが知られている。以下、これらについて詳しく説明する。

【0005】まず、相関ピーク検出型AFC方式について説明する。図2は従来の相関ピーク検出型AFC方式の構成例図である。図において、21は直交検波器、22は $+f$ Hzオフセットさせたユニークワードを発生させる $+f$ Hzユニークワード発生器、23は $-f$ Hzオフセットさせたユニークワードを発生させる $-f$ Hzユニークワード発生器、24、25は複素相関演算器、26、27は電力計算器、28は電力比算出器、29は周波数誤差変換器、30は平均化処理器である。

【0006】まず、送信側では、ユニークワードを付加した状態で直交変調して送信する。受信側では、送信側より伝送された信号を受信し、直交検波器21で直交検波を行い、I相とQ相に分離する。I相とQ相に分離した受信信号のユニークワード部と、予めAFC部に用意されている $\pm f$ Hzをそれぞれにオフセットさせたユニークワード発生器22、23との複素相関を複素相関演算器24、25でそれぞれ算出し、自乗和を算出する。複素相関自乗和は以下に示す(1)式による。

## 【0007】

【数1】

$$[n=0, 1, 2, \dots, p]$$

$$[n=0, 1, 2, \dots, p]$$

$$[n=0, 1, 2, \dots, p] \quad \dots (1)$$

【0008】ここで、それぞれに $\pm f$ Hzオフセットさ

せたユニークワードの導出方法を式(2)、式(3)を

使って以下に示す。

イ) ユニークワードに対応した $\pm f$  Hzのオフセット・カーブを算出する。(例: ユニークワードのシンボル数を「28シンボル」とし、キーイングスピードを「15

00baud」とする。)

【0009】

【数2】

$$\text{イマジナリ} : y = \sin(2\pi \times \frac{\pm f}{1500} \times x) \quad [x=0, 1, 2, \dots, 27]$$

$$\text{リアル} : z = \cos(2\pi \times \frac{\pm f}{1500} \times x) \quad [x=0, 1, 2, \dots, 27] \quad \dots (2)$$

【0010】ロ) ユニークワードと式(2)で算出した 10 ユニークワードの振幅を「a」とする。) 結果との複素乗算を式(3)に示すように行う。(例: 【数3】

ユニークワード :  $a + j a$

オフセット・カーブ :  $z + j y$  (式(2)で導出される $z$ および $y$ を使用)

複素乗算 :  $(a z - a) + j (a z + a y) \quad \dots (3)$

【0011】図3はオフセット量をパラメータにした入力周波数誤差に対する複素相関比の特性例図であり、上述の方法で、 $\pm f$  Hz オフセットさせたユニークワード (オフセット量として $\pm 40$  Hz・ $\pm 50$  Hz・ $\pm 60$  Hzを与えた) と、受信信号に故意にオフセットを与えた信号におけるユニークワード部との複素相関結果から 20 正負複素相関比  $(+f \text{ [Hz] offset RESULT}) / (-f \text{ [Hz] offset RESULT})$  を算出し、これを縦軸に、受信信号の周波数誤差を横軸にそれぞれ配したグラフである。

【0012】ここで、

$+f \text{ [Hz] offset RESULT} : +f \text{ Hz オフセットさせたユニークワードと受信信号を故意にオフセットさせた入力信号との複素相関自乗和であり、}$

$-f \text{ [Hz] offset RESULT} : -f \text{ Hz オフセットさせたユニークワードと受信信号を故意にオフセットさせた入力信号との複素相関自乗和である。}$  30

【0013】図3より、 $\pm 50$  Hzそれぞれオフセット

$$x_{ave} = (\lambda \times x_{ave}) + ((1-\lambda) \times x_t) \quad \dots (4)$$

$x_{ave}$  : 平均化結果

$x_t$  : 現フレームで算出されたオフセット周波数

$\lambda$  : 忘却係数 ( $0 < \lambda < 1$ )

【0016】こうして検出された周波数誤差情報は、直交検波器21に与えられ、次フレームの直交検波時において受信信号に与える逆回転の回転量を制御する周波数誤差補正值として使用される。

【0017】しかし、この方式のみを用いたAFC方式では、周波数選択性フェージングの影響を除去することができないため、データ伝送の品質であるBER (Bit Error Rate) 特性の劣化が見られる。

させたユニークワードとの複素相関演算を行うことで、HF帯域で航空機同士のすれ違い時のドップラシフトやSSB離調などの場合に生じる周波数誤差を補償することができる。上述の結果によって、受信信号のユニークワード部と $\pm 50$  Hz オフセットさせたユニークワードとの複素相関結果である複素相関系列が複素相関演算器24、25から出力される。

【0014】複素相関演算器24、25から出力される複素相関系列は、電力計算器26、27に入力され、それぞれの電力値(系列自乗和)が算出され、電力比算出器28に入力される。電力比算出器28では正負複素相関比が算出され、その出力は周波数誤差変換器29に入力されて周波数誤差情報に変換出力される。

【0015】次に、平均化処理器30で平均化を行い、突発的に起こると予想される演算結果の大幅なずれを吸収する。平均化を行う式を式(4)に示す。

【数4】

【0018】次に、 $\tan^{-1}$ 型AFC方式について説明する。まず、既知のユニークワードを基準とし、検波後の受信ユニークワードの位相誤差を検出する。ユニークワード位相誤差検出には下記の(5)式を用い、ユニークワードの1シンボル間のみではなくユニークワード長に亘って誤差検出を行い、平均化し、1シンボル当たりの誤差( $\Phi_s$ )を求める。この平均化処理により受信電力が減少した際にも正確に位相誤差が検出できる。

【0019】

【数5】

$$\phi_s = \frac{1}{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} \left[ \tan^{-1} \left[ \frac{Q_{(n+1)}}{I_{(n+1)}} \right] - \tan^{-1} \left[ \frac{U_{Q(n+1)}}{U_{I(n+1)}} \right] - \left\{ \tan^{-1} \left[ \frac{Q_{(n)}}{I_{(n)}} \right] - \tan^{-1} \left[ \frac{U_{Q(n)}}{U_{I(n)}} \right] \right\} \right] \quad \dots (5)$$

但し、

50  $\phi_s$  : 1シンボル当たりの誤差

## 5

I : I相受信ユニークワード  
 Q : Q相受信ユニークワード  
 $U_i$  : I相ユニークワード  
 $U_q$  : Q相ユニークワード  
 N : ユニークワード長

$$\phi_{ave} = \lambda \cdot \phi_{ave} + (1 - \lambda) \cdot \Phi_s \quad \dots\dots (6)$$

$\phi_{ave}$  : 平均化誤差  
 $\phi_s$  : 1シンボル当たりの誤差  
 $\lambda$  : 忘却係数 ( $0 \leq \lambda < 1$ )

【0021】これは、周波数誤差はフレーム間で急激に  
 変動することはないため、平均化処理を入れることで、  
 選択性フェージングによる受信信号の歪みが大きく、等

$$\phi_{cont} = -\alpha \cdot \phi_{ave}$$

$\phi_{cont}$  : 補正情報  
 $\phi_{ave}$  : 平均化誤差  
 $\alpha$  : 増幅係数 ( $0 < \alpha$ )

【0022】しかし、この方式のみを用いた場合、等化  
 器へ入力する前にAFC処理を行わねばならないため、  
 周波数選択性フェージングの影響を除去していない受信  
 信号のユニークワード部を用いて等化演算を行わねばな  
 らず、演算結果として得られる周波数誤差情報が実際の  
 周波数誤差とは全く異なったものになってしまうため、  
 前記の相関ピーク検出型AFC方式と同様にBER特性  
 の劣化が見られる。

## 【0023】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、上述  
 の従来の相関ピーク検出型AFC方式の周波数選択性フ  
 ェージングの影響を除去できないという欠点をなくし、  
 $\tan^{-1}$ 型AFC方式の周波数選択性フェージングの影響  
 を除去できないという欠点と、等化処理前のAFC処理  
 のため等化処理結果の周波数誤差が不正確であるという  
 欠点を回避することにあり、HF帯域などで航空機同士  
 のすれ違い時のドップラシフトやSSB離調時に起こり  
 うる、数10～数100Hzの周波数誤差をも補償する  
 ことのできるAFC方式を提供することにある。

## 【0024】

【課題を解決するための手段】本発明は、検波後の受信  
 信号を、周波数選択性フェージングが存在しても、ある  
 程度の周波数誤差を検出できる第1のAFC部4を用い  
 て、適応等化器5が動作するレベルまでの周波数誤差成  
 分の推定と補正を行ってから適応等化器5に入力し、等  
 化後の等化出力に残留する周波数誤差成分を、等化され  
 た受信信号のユニークワード部と受信機側で既知のユニ  
 ークワードから再度推定し、2つの周波数誤差情報を加  
 算して直交検波器11に入力することで周波数誤差を補  
 正する方式である。

【0025】すなわち、一定長の伝送データ毎に既知の  
 ユニークワードが付加されたフレーム構成を有する信号  
 が変調された電波を受信して外部から与えられる周波数  
 誤差補正值により補正制御された直交検波を行う直交検

## 6

【0020】次に、忘却係数 $\lambda$ を0以上1未満の値に設  
 定し、(5)式によって検出された位相誤差 $\Phi_s$ に対  
 し、(6)式によって平均化処理を行う。

## 【数6】

化出力の歪みも大きな場合における、位相誤差の誤検出  
 を抑えるためである。次に、(7)式に示すように、平  
 均化位相誤差( $\Phi_{ave}$ )を反転し、適当な増幅係数  
 ( $\alpha$ )を乗じて補正情報( $\Phi_{cont}$ )とする。

## 【数7】

$$\dots\dots (7)$$

波手段と、検波後の受信信号におけるユニークワード部  
 と正負両方向に故意に周波数オフセットを与えたユニ  
 ークワードとの複素相関演算を行うことによって第1の周  
 波数誤差情報を検出する第1の周波数誤差検出手段と、  
 該第1の周波数誤差情報に基づき受信系列に逆の回転を  
 与える第1の周波数補正手段と、該第1の周波数補正手  
 段から出力されるユニークワードを含む受信信号の波形  
 等化を行うことによって遅延歪みを等化する適応等化器  
 と、遅延歪みの影響が除去された受信信号のユニークワ  
 ード部と既知のユニークワードとの複素相関演算を行う  
 ことによって第2の周波数誤差情報を検出する第2の周  
 波数誤差検出手段と、前記第1および第2の2つの周波  
 数誤差情報を加算して前記直交検波手段に前記周波数誤  
 差補正值として入力し次フレームの周波数誤差を補正す  
 る第2の周波数補正手段とを備えたことを特徴とするも  
 のである。

## 【0026】

【発明の実施の形態】図1は本発明の一実施例を示すブ  
 ロック図である。図において、1は直交検波器、2はオ  
 フセットユニークワード発生器、3は第1周波数誤差検  
 出器、4は第1の周波数補正部(第1AFC部)、5は  
 適応等化器、6はユニークワード発生器、7は第2周波  
 数誤差検出器、8は加算器、10は第2の周波数補正部  
 (第2AFC部)、1-1は分波器、1-2、1-3は  
 乗算器、1-4は $\pi/2$ シフト演算器である。

【0027】直交検波器1は受信信号をI相およびQ相  
 に分離する。すなわち、直交検波器1に入力された受信  
 信号は、直交検波器内の分波器1-1に入力され2波に  
 分波されて出力される。2波はそれぞれsin波を乗算器  
 1-2、1-3で乗じられ、I相/Q相信号となる。な  
 お、乗算器1-2に乘じられるsin波は、もう一方の乗  
 算器1-3に乘じるsin波を $\pi/2$ シフト演算器1-4  
 で $\pi/2$ シフトさせた波である。

【0028】オフセットユニークワード発生器2は、相  
 異なる複数の周波数でオフセットさせたユニークワード  
 を発生して第1周波数誤差検出器3へ出力する。第1周  
 波数誤差検出器3は、直交検波器1でI相/Q相に分離

された受信信号を入力し、オフセットユニークワード発生器2からのオフセットさせたユニークワードと受信信号におけるユニークワード部との複素相関演算を行うことにより第1周波数誤差情報を第1AFC部4と加算器8に対して出力する。動作の詳細は従来の技術の項に記述してある通りである。

【0029】第1AFC部4は、第1周波数誤差検出器3から得られる第1周波数誤差情報より、受信信号に逆回転を与えて周波数補正を行う。適応等化器5は、受信信号中のユニークワード部をトレーニングに用いて伝送路の推定を行い、適応的にタップ係数を算出する。次に、算出されたタップ係数を用いて受信信号のユニークワード部およびデータ部の波形等化を行う。

【0030】第2周波数誤差検出器7は、適応等化器5の出力である等化された受信信号のユニークワードと、ユニークワード発生器6から得られる既知のユニークワードとの  $\tan^{-1}$  演算により第2周波数誤差情報を得る。動作の詳細は従来の技術の項に記述してある通りである。

【0031】第2AFC部10は、加算器8と上述の直交検波器1を含み持っている。加算器8は上述の第1周波数誤差検出器3から出力される第1周波数誤差情報と、第2周波数誤差検出器7から出力される第2周波数誤差情報とを加算し、周波数誤差補正值として出力し、直交検波器1で受信信号と乗算する  $\sin$  波の回転制御を行い周波数の補正を行う。なお、上記第1周波数誤差検出器3は、既知のユニークワードに対する受信信号のユニークワードの位相回転を(5)式によって求める手段を用いても同様の効果を得ることは自明である。

【0032】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明を実施することにより、周波数選択性フェージング下にお

いても、HF帯域などで相互に通信中の航空機同士のすれ違い時に発生するドップラシフトや、SSB伝送での周波数離調時に起こりうる周波数誤差が存在する場合でも、正確にこれらの周波数誤差の補正が可能なAFC方式を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例を示すブロック図である。

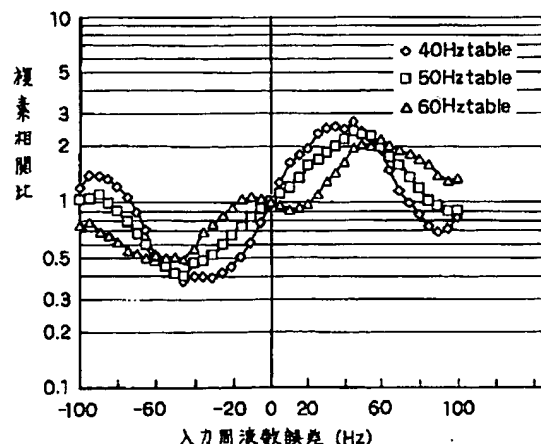
【図2】従来の相関ピーク検出型AFC方式の構成例図である。

10 【図3】正負複素相関比を入力オフセット周波数を横軸にグラフ化した図である。

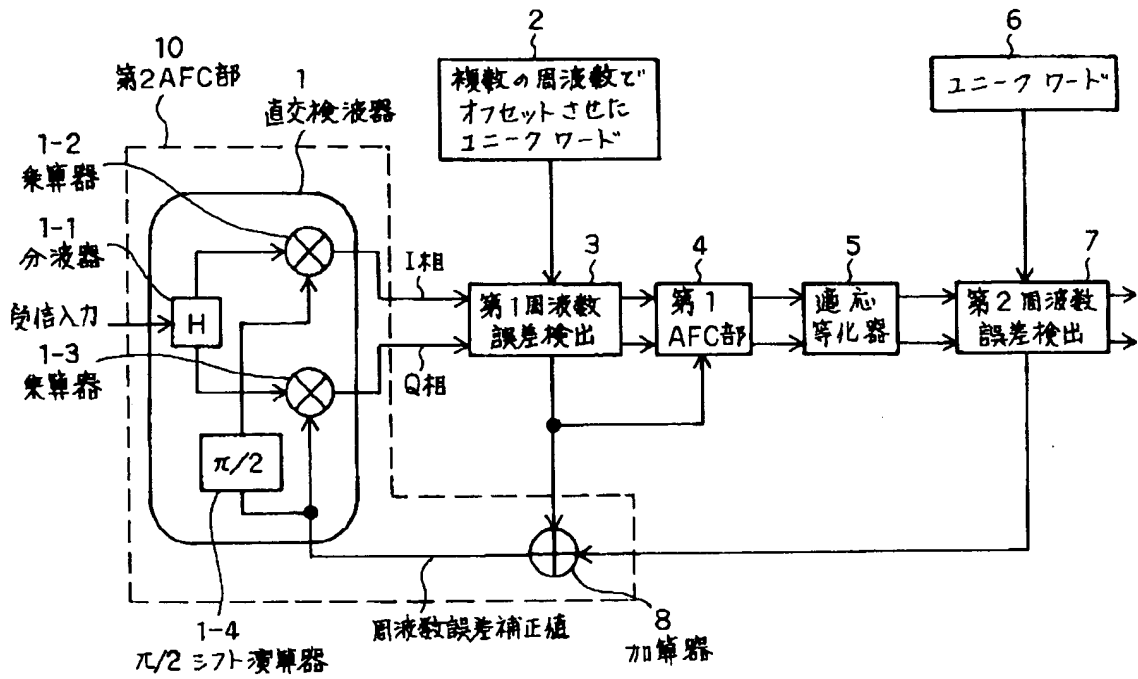
【符号の説明】

- 1 直交検波器
- 1-1 分波器
- 1-2, 1-3 乗算器
- 1-4  $\pi/2$ シフト演算器
- 2 オフセットユニークワード発生器
- 3 第1周波数誤差検出器
- 4 第1AFC部
- 5 適応等化器
- 6 ユニークワード発生器
- 7 第2周波数誤差検出器
- 8 加算器
- 10 第2AFC部
- 21 直交検波器
- 22  $+f$  Hzユニークワード発生器
- 23  $-f$  Hzユニークワード発生器
- 24, 25 複素相関演算器
- 26, 27 電力計算器
- 28 電力比計算器
- 29 周波数誤差変換器
- 30 平均化処理器

【図3】



【図1】



【図2】

